

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN



**“COMPARACIÓN DE PROCEDIMIENTOS PARA LA CLASIFICACIÓN DE
SUELOS EXPANSIVOS”**

Por:

ALEJANDRA RIVERO PÉREZ

Proyecto de Grado presentado a consideración de la “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para optar el grado académico de licenciatura en Ingeniería Civil.

SEMESTRE II - 2023

TARIJA-BOLIVIA

Dedicatoria

A Dios, a quien le debo todo lo bueno de mi vida, que siempre me acompañó y levantó de todo tropiezo.

A mis padres Juan Carlos Rivero Zurita y Alicia Pérez Jaén, que con mucho cariño me brindaron su apoyo.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

	Página
1.1. Antecedentes	1
1.2. Situación problemática.....	3
1.2.1. Problema.....	3
1.2.2. Relevancia y factibilidad del problema	3
1.2.3. Delimitación temporal y espacial del problema	4
1.3. Justificación.....	4
1.4. Objetivos	5
1.4.1. Objetivo general.....	5
1.4.2. Objetivos específicos	5
1.5. Hipótesis	6
1.6. Operacionalización de las variables	6
1.6.1. Variables independientes.....	6
1.6.2. Variables dependientes.....	6
1.7. Identificación del tipo de investigación	7
1.8. Unidades de estudio y decisión muestral	7
1.8.1. Unidad de estudio	7
1.8.2. Población	7
1.8.3. Muestra	7
1.8.4. Selección de técnicas de muestreo	7
1.9. Métodos y técnicas empleadas	8
1.9.1. Métodos	8
1.9.2. Técnicas.....	8
1.9.3. Procedimiento para el análisis y la interpretación de la información.....	8
1.9.4. Alcance de la investigación	9

CAPÍTULO II
BASE TEÓRICA DE LOS SUELOS EXPANSIVOS

	Página
2.1. Suelo.....	10
2.2. Meteorización.....	11
2.2.1. Efectos microbiológicos	13
2.3. Transporte de productos de la meteorización.....	16
2.4. Tamaño de la partícula	16
2.5. Suelo expansivo	19
2.6. Arcillas	22
2.7. Minerales de la arcilla	22
2.8. El agua en las arcillas.....	27
2.9. Caracterización de los suelos expansivos	28
2.9.1. Gravedad específica	28
2.9.2. Ensayo de granulometría	28
2.9.3. Ensayo de hidrómetro.....	28
2.9.4. Límites de consistencia.....	30
2.10. Clasificación de suelos expansivos	32
2.10.1. Límite líquido	32
2.10.2. Índice de plasticidad	33
2.10.3. Actividad	34
2.10.4. Prueba de edómetro	35
2.11. Estadística	44
2.11.1 Variables dependientes	44
2.11.2. Variables independientes.....	45
2.11.3. Media.....	45
2.11.4. Mediana	45
2.11.5. Desviación media	46
2.11.6. Desviación estándar.....	47
2.11.7. Coeficiente de variación	47
2.11.7.1. Interpretación del coeficiente de variación.....	48
2.11.8. Prueba de hipótesis	49

2.11.8.1. La hipótesis nula y la hipótesis alternativa	49
2.11.8.2. Tipos de error.....	49
2.11.8.3. Propiedades de una prueba de hipótesis	50
2.11.8.4. Prueba unilateral	50
2.11.8.5. Prueba de bilateral	51
2.11.8.6. Nivel de significancia	52
2.11.8.7. Procedimiento a seguir en las pruebas de hipótesis.....	52
2.11.8.8. Distribución de medias muestrales	53

CAPÍTULO III

RELEVAMIENTO DE DATOS

	Página
3.1. Reconocimiento y ubicación de las zonas de extracción de las muestras en estudio	55
3.1.1. Barrio Moto Méndez	55
3.1.2. Barrio Germán Busch	57
3.1.3. Barrio 26 de Agosto	59
3.1.4. Barrio Monte Sud	60
3.1.5. Barrio San Bernardo.....	62
3.1.6. Villa Avaroa	63
3.1.7. Zona avenida La Banda.....	64
3.1.8. Barrio Miraflores.....	65
3.1.9. Barrio Lourdes.....	66
3.1.10. Zona de la Nueva Terminal.....	67
3.1.11. Barrio San Blas.....	68
3.1.12. Barrio Fray Quebracho	69
3.1.13. Barrio Aranjuez Bajo.....	70
3.1.14. Barrio Morros Blancos	72
3.1.15. Barrio Los Olivos	73
3.2. Muestreo.....	74
3.2.1. Tipo de muestras	74
3.2.2. Toma de las muestras	74
3.3. Ensayos de caracterización de las muestras de suelo.....	77

3.3.1. Límite Líquido y límite plástico ASTM D 4318.....	77
3.3.2. Gravedad específica de los sólidos ASTM D 854.....	80
3.3.3. Análisis granulométrico por hidrómetro ASTM D 7928	81
3.3.4. Clasificación de los suelos ASTM D2487.....	84
3.4. Ensayo de hinchamiento libre mediante el uso del edómetro	86
3.5. Clasificación de suelos expansivos	91
3.5.1. Límite líquido	91
3.5.2. Índice de plasticidad	92
3.5.3. Mediante carta de actividad de la norma E.050.	93
3.5.4. Edómetro	95
3.5.5. Resumen de los resultados de la clasificación de suelos expansivos	96

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE PROCEDIMIENTOS PARA LA CLASIFICACIÓN DE SUELOS EXPANSIVOS

	Página
4.1. Clasificación de suelos expansivos	98
4.2. Comparación entre procedimientos para la clasificación de suelos expansivos	99
4.2.1. Tiempos estimados de realización de los ensayos.....	102
4.2.2. Equipos y herramientas necesarias para cada procedimiento.....	103
4.2.3. Evaluación de eficiencia de resultados de cada procedimiento.....	104
4.2.3.1. Verificación de variación de datos respecto a la media.....	105
4.3. Prueba de hipótesis.....	109
4.4. Comparación de los procedimientos respecto a un patrón.....	115

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Página
Conclusiones	116
Recomendaciones.....	117

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

Anexo A: Memoria de laboratorios

Anexo B: Memoria fotográfica

Anexo C: Varios

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1.1. Variables dependientes e independientes.....	6
Tabla 2.1. Clasificación de suelos según tamaño de partícula.....	17
Tabla 2.2. Agua absorbida según el tipo de mineral.....	27
Tabla 2.3. Predicción de la expansividad del suelo por límite líquido.....	33
Tabla 2.4. Predicción de la expansividad del suelo por índice de plasticidad.....	33
Tabla 2.5. Predicción de la potencial expansión en arcillas.....	34
Tabla 2.6. Predicción de la expansividad del suelo por edómetro.....	36
Tabla 2.7. Situaciones posibles al probar una hipótesis estadística.....	49
Tabla 3.1. Límite líquido, plástico e índice de plasticidad.....	79
Tabla 3.2. Gravedad específica de las muestras estudiadas.....	81
Tabla 3.3. Resumen de la prueba de hidrómetro de las muestras estudiadas.....	83
Tabla 3.4. Clasificación de las muestras de suelo estudiadas.....	86
Tabla 3.5. Hinchamiento libre.....	90
Tabla 3.6. Predicción de la expansividad del suelo por límite líquido.....	91
Tabla 3.7. Predicción de la expansividad del suelo por índice de plasticidad.....	92
Tabla 3.8. Predicción de la expansividad del suelo por actividad y norma E050.....	94
Tabla 3.9. Predicción de la expansividad del suelo por edómetro.....	95
Tabla 3.10. Clasificación de suelos expansivos.....	96
Tabla 3.11. Clasificación y caracterización de suelos expansivos.....	97
Tabla 4.1. Predicción Clasificación de suelos expansivos mediante el límite líquido.....	98
Tabla 4.2. Tiempos estimados para la realización de los ensayos.....	102
Tabla 4.3. Equipos y herramientas mínimas para cada procedimiento.....	103
Tabla 4.4. Media de porcentajes según grado de expansión.....	104
Tabla 4.5. Variación porcentual respecto a la media.....	105
Tabla 4.6. Desviación estándar.....	106
Tabla 4.7. Coeficiente de variación.....	106
Tabla 4.8. Orden ascendente de la variación porcentual de cada método.....	107
Tabla 4.9. Media de procedimientos para clasificar suelos expansivos.....	107
Tabla 4.10. Desviación estándar de métodos seleccionados.....	108
Tabla 4.11. Coeficiente de variación de métodos seleccionados.....	108

Tabla 4.12. Variación porcentual respecto a la media comprobada	109
Tabla 4.13. Orden ascendente de la variación porcentual respecto a la media comprobada	109
Tabla 4.14. Datos estadísticos respecto al grado alto de expansión.....	110
Tabla 4.15. Datos estadísticos respecto al grado medio de expansión.....	112
Tabla 4.16. Datos estadísticos respecto al grado bajo de expansión.....	113
Tabla 4.17. Grado de expansión de los procedimientos y el patrón	115
Tabla 4.18. Variación porcentual respecto a un método patrón.....	115
Tabla 4.19. Orden ascendente de la variación porcentual respecto a un método patrón.....	115

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 2.1. Suelo.....	10
Figura 2.2. Bacterias adheridas a partículas de arena.....	14
Figura 2.3. Microagregado bacteriano.....	15
Figura 2.4. Biopelícula en la superficie del suelo.....	15
Figura 2.5. Suelo expansivo, ubicado en el Barrio Los Olivos.....	20
Figura 2.6. Posible pandeo en pavimentos debido a la expansión del subsuelo.....	21
Figura 2.7. Distinto tipos de daño en los muros debido al subsuelo expansivo.....	21
Figura 2.8. Diagrama de las estructuras de la caolinita.....	23
Figura 2.9. Diagrama de las estructuras de la illita.....	24
Figura 2.10. Diagrama de las estructuras de la montmorillonita.....	25
Figura 2.11. Micrografía electrónica de barrido que muestra el tejido de la montmorillonita.....	25
Figura 2.12. (a) Sílice tetraédrico, (b) lámina de sílice, (c) lámina de aluminio octaédrico, (d) lámina octaédrica (gibbsita), (e) lámina de sílice gibbsita elemental.....	26
Figura 2.13. Definición de L en una prueba de hidrómetro.....	30
Figura 2.14. Corte de la taza para determinar el límite líquido.....	31
Figura 2.15. Ensayo para determinar el límite plástico.....	31
Figura 2.16. Grado de expansión según el índice de plasticidad y el porcentaje de arcilla en el suelo.....	35
Figura 2.17. Curva tiempo-hinchamiento.....	38
Figura 2.18. Interpretación de los valores del coeficiente de variación.....	48
Figura 2.19. Prueba unilateral a la derecha.....	50
Figura 2.20. Prueba unilateral a la izquierda.....	51
Figura 2.21. Prueba bilateral.....	51
Figura 3.1. Ubicación del sitio de extracción de la muestra 1.....	55
Figura 3.2. Sitio de extracción de la muestra 1.....	56
Figura 3.3. Ubicación del sitio de extracción de la muestra 2.....	57
Figura 3.4. Sitio de extracción de la muestra 1.....	58
Figura 3.5. Construcción que se encuentra por encima del talud en cuestión.....	58
Figura 3.6. Ubicación del sitio de extracción de la muestra 3.....	59

Figura 3.7. Ubicación del sitio de extracción de la muestra 4	60
Figura 3.8. Punto de extracción al pie del talud.....	61
Figura 3.9. Ubicación del sitio de extracción de la muestra 5	62
Figura 3.10. Ubicación del sitio de extracción de la muestra 6	63
Figura 3.11. Ubicación del sitio de extracción de la muestra 7	64
Figura 3.12. Ubicación del sitio de extracción de la muestra 8	65
Figura 3.13. Ubicación del sitio de extracción de la muestra 9	66
Figura 3.14. Ubicación del sitio de extracción de la muestra 10	67
Figura 3.15. Ubicación del sitio de extracción de la muestra 11	68
Figura 3.16. Ubicación del sitio de extracción de la muestra 12	69
Figura 3.17. Ubicación del sitio de extracción de la muestra 13	70
Figura 3.18. Ubicación del sitio de extracción de la muestra 13	71
Figura 3.19. Ubicación del sitio de extracción de la muestra 14	72
Figura 3.20. Ubicación del sitio de extracción de la muestra 15	73
Figura 3.21. Muestreo	75
Figura 3.22. Excavación.....	75
Figura 3.23. Extracción de muestra inalterada.....	76
Figura 3.24. Muestra extraída mediante tubo shelby	76
Figura 3.25. Tubo shelby con muestra inalterada de suelo fino.....	77
Figura 3.26. Ensayo para obtención de límite líquido	78
Figura 3.27. Ensayo para obtención del límite plástico	79
Figura 3.28. Ensayo de gravedad específica de los sólidos	80
Figura 3.29. Equipos necesarios para ensayo de granulometría por hidrómetro	82
Figura 3.30. Ensayo de granulometría por hidrómetro	82
Figura 3.31. Realización del ensayo de granulometría por hidrómetro	83
Figura 3.32. Ensayo de granulometría	85
Figura 3.33. Ensayo de granulometría por lavado	85
Figura 3.34. Tallado de las muestras.....	87
Figura 3.35. Colocado de la muestra al equipo.....	87
Figura 3.36. Edómetro	88
Figura 3.37. Edómetro	89
Figura 3.38. Grado de expansión de la M1 determinada mediante la actividad y la carta de plasticidad.....	93

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Página
Gráfico 4.1. Clasificación de los suelos expansivos mediante límite líquido según Chen	99
Gráfico 4.2. Clasificación de los suelos expansivos mediante límite líquido según IS 1498	99
Gráfico 4.3. Clasificación de los suelos expansivos mediante índice de plasticidad según Chen	100
Gráfico 4.4. Clasificación de los suelos expansivos mediante índice de plasticidad según IS 1498	100
Gráfico 4.5. Clasificación de los suelos expansivos mediante la norma E050	101
Gráfico 4.6. Clasificación de los suelos expansivos mediante edómetro	101
Gráfico 4.7. Comparación entre métodos	105
Gráfico 4.8. Prueba de hipótesis para el grado alto de expansión	111
Gráfico 4.9. Prueba de hipótesis para el grado medio de expansión.....	113
Gráfico 4.10. Prueba de hipótesis para el grado bajo de expansión.....	114